



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 02 574 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>  
**F 03 D 11/00**

⑰ Aktenzeichen: 198 02 574.2  
⑱ Anmeldetag: 23. 1. 98  
⑲ Offenlegungstag: 11. 3. 99

DE 198 02 574 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑧ Erfinder:  
Gawlik, Wolfgang, Dipl.-Ing., 99086 Erfurt, DE;  
Walli, Klaus, Dr., 99089 Erfurt, DE; Hanzl, Peter,  
Dipl.-Ing., 99097 Erfurt, DE

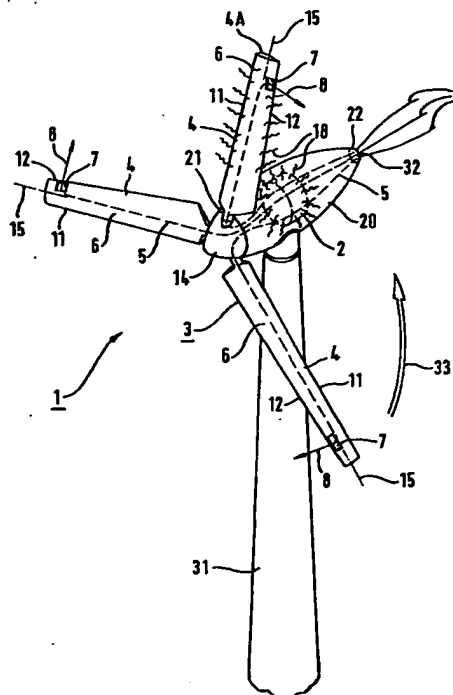
⑥ Entgegenhaltungen:  
DE-PS 8 42 330  
DE-AS 12 81 270  
DE 1 95 28 862 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

④ Windkraftanlage und Verfahren zum Betrieb einer Windkraftanlage

⑤ Die Erfindung betrifft eine Windkraftanlage (1), mit einem Generator (2) und mit einer Turbine (3), die mindestens ein Rotorblatt (4) aufweist, wobei ein teilweise im Inneren des Rotorblattes (4) verlaufender Strömungsweg (5) an der Oberfläche (6) des Rotorblattes (4) an einer Mündung (7) mündet und wobei durch den Generator (2) Wärme (18) auf einen in dem Strömungsweg (5) erzeugbaren Luftstrom (8) übertragbar ist.



DE 198 02 574 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Windkraftanlage mit einem Generator und mit einer Turbine und ein Verfahren zum Betrieb einer Windkraftanlage.

5 In dem Artikel "Development and Design of a Large Wind Turbine Blade" von M. Hahn und P. Wackerle, 3rd International Symposium on Wind Energy Systems, 26.-29.08.1980, Lymby, Kopenhagen, Dänemark, ist der Aufbau eines großen Rotorblattes einer Windkraftanlage beschrieben. Speziell in Fig. 20 ist ein Heizsystem für dieses Rotorblatt dargestellt, welches durch an der Innenseite des hohlen Rotorblatts angeordnete Kupferstreifen gebildet wird. Durch die Kupferstreifen ist ein elektrischer Strom führbar, welcher das Rotorblatt heizt.

10 Aufgabe der Erfindung ist die Angabe einer Windkraftanlage. Weitere Aufgabe der Erfindung ist die Angabe eines Verfahrens zum Betrieb einer Windkraftanlage.

Erfindungsgemäß wird die auf Angabe einer Windkraftanlage gerichtete Aufgabe gelöst durch eine Windkraftanlage, mit einem Generator und mit einer Turbine, die mindestens ein Rotorblatt aufweist, wobei ein teilweise im Inneren des Rotorblattes verlaufender Strömungsweg an der Oberfläche des Rotorblattes an einer Mündung mündet und wobei durch den Generator Wärme auf einen in dem Strömungsweg erzeugbaren Luftstrom übertragbar ist.

15 Diese Ausgestaltung bietet gleich zwei erhebliche Vorteile:

1. Für den Generator der Windkraftanlage wird ein leistungsfähiges Kühlsystem bereitgestellt. Dies geschieht unter der Ausnutzung einer großen Staudruckdifferenz, die zwischen der Mündung an der Oberfläche des Rotorblatts und der Umgebung der Windkraftanlage bei einer Rotation des Rotorblatts entsteht. Diese Staudruckdifferenz entsteht durch eine Saugwirkung an der Mündung durch den das Rotorblatt umströmenden Wind. An einer geeigneten Stelle der Windkraftanlage wird Umgebungsluft angesaugt. Diese wird unter Ausnutzung der Druckdifferenz durch das Rotorblatt oder die Rotorblätter bis zu der Mündung an der Oberfläche des Rotorblatts geführt. Auf diese Weise kann ein Luftstrom mit einem großen Volumenstrom erzeugt werden. Der Luftstrom wird zur Kühlung des Generators genutzt. Der Generator überträgt seine im Betrieb erzeugte Abwärme direkt oder indirekt auf den Luftstrom. Der große Volumenstrom führt dabei zu einer besonders hohen Kühlleistung.

2. Gerade in der kalten Jahreszeit bereitet häufig eine Vereisung der Rotorblätter an der Windkraftanlage erhebliche Probleme. Die durch eine solche Vereisung auftretenden Unwuchten und Wirkungsgradeinbußen beeinträchtigen die Betriebssicherheit und den Ertrag der Windkraftanlage. Dem wurde bisher – wie oben zitiert – in der Regel durch eine elektrische Rotorblattheizung begegnet. Die Erfindung zeigt nunmehr einen besonders einfachen und kostengünstigen Weg auf, Rotorblätter einer Windkraftanlage über die sowieso im Betrieb auftretende Abwärme des Windkraftgenerators zu heizen. Indem der Generator seine Abwärme auf den Luftstrom überträgt, wird also nicht nur eine effiziente Kühlung des Generators bereitgestellt, sondern gleichzeitig mit dem so erwärmten Luftstrom eine Rotorblattheizung erreicht.

Die bei Umströmung einer Gondel erzeugte konventionelle Staudruckdifferenz, wie es bisher häufig durchgeführt wurde, liegt im Bereich

$$40 \quad \Delta p = \frac{\rho}{2} v_n^2,$$

wobei  $v_n$  die Nenngeschwindigkeit der Windkraftanlage im Bereich 10–13 m/s ist. An den Mündungen im Bereich der Rotorblätter ist die Staudruckdifferenz dagegen

$$45 \quad \Delta p = \frac{\rho}{2} \left( \frac{4}{9} v_n^2 + (\omega r)^2 \right),$$

50 wobei  $\omega r$  die Umfangsgeschwindigkeit an der Mündung im Rotorblatt ist. Diese Staudruckdifferenz ist erheblich größer. Beispielsweise ist für eine Windkraftanlage mit der Nennleistung  $P_n = 1,5$  MW, Nenngeschwindigkeit  $v_n = 13$  m/s, Nenndrehzahl  $n_n = 20$  U/min und Rotordurchmesser  $D_{\text{rotor}} = 65$  m bei einer Luftdichte von  $\rho = 1,128$  kg/m<sup>3</sup> die konventionelle Staudruckdifferenz

$$55 \quad \Delta p_{\text{konventionell}} \approx \frac{1,128}{2} \cdot 13^2 \text{ Pa} = 95 \text{ Pa},$$

60 während mit einer Anordnung im Sinne der Erfindung eine Staudruckdifferenz von

$$65 \quad \Delta p_{\text{Erfindung}} \approx \frac{1,128}{2} \cdot \left( \frac{4}{9} 13^2 + \left( 2\pi \frac{20}{60} \frac{65}{2} \right)^2 \right) \text{ Pa} = 2655 \text{ Pa}$$

erzielt wird.

Bevorzugt ist um das Rotorblatt durch den Wind eine Strömung erzeugbar, die ortsabhängig unterschiedliche Drücke

am Rotorblatt aufweist, wobei die Mündung in einem Bereich niedrigen Druckes liegt. Grundsätzlich kann die Mündung an verschiedenen Stellen des Rotorblattes vorgesehen sein. Eine besonders hohe Druckdifferenz und damit ein besonders großer Volumenstrom für den erzeugten Luftstrom liegt aber dann vor, wenn die Mündung in einem Bereich eines niedrigen Druckes für die das Rotorblatt umströmende Luftströmung liegt. Vorzugsweise weist das Rotorblatt eine Anström-  
kante und eine Abströmkante auf, wobei die Mündung an oder in der Nähe der Abströmkante liegt.

Bevorzugt ist das Rotorblatt an einer Nabe angeordnet und erstreckt sich von der Nabe weg entlang einer Achse, wobei die Mündung im letzten Drittel, insbesondere im letzten Viertel des Rotorblattes liegt. An dem der Nabe abgewandten Ende des Rotorblattes liegen die höchsten Geschwindigkeiten für die das Rotorblatt umströmende Luftströmung. Je größer die Strömungsgeschwindigkeit der das Rotorblatt umströmenden Strömung ist, desto größer ist auch der durch diese Strömung hervorgerufene Saugeffekt. Somit läßt sich durch eine in der Nähe des von der Nabe abgewandten Endes des Rotorblattes liegende Mündung eine besonders große Druckdifferenz erzielen.

Bevorzugt ist die Wärme durch den Generator direkt auf den Luftstrom übertragbar. Wenn der Generator direkt von dem Luftstrom umströmt wird, also z. B. im Strömungsweg angeordnet ist, kann eine besonders effiziente Kühlung erfolgen.

Weiter bevorzugt ist die Wärme vom Generator an einen Wärmetauscher übertragbar, durch welchen Wärmetauscher der Luftstrom führt. Damit ist es möglich, die Abwärme des Generators indirekt über einen Wärmetauscher an den Luftstrom abzugeben. Dies ist dann von Vorteil, wenn der Generator vor einem direkten Einfluß durch den Luftstrom geschützt werden soll, um z. B. eine Korrosion von Generatorteilen zu verhindern. Dies ist insbesondere bei salzhaltiger Luft, z. B. am Meer, von Bedeutung.

Bevorzugtermaßen weist die Windkraftanlage eine Gondel auf, wobei der Strömungsweg zumindest durch einen Teil der Gondel führt. Die Gondel ist ein unter anderem den Generator umgebendes Gehäuse, an dem die Turbine angeordnet ist. Weiter bevorzugt erstreckt sich die Gondel von einem turbinenseitigen Ende bis zu einem turbinenabgewandten Ende, wobei der Strömungsweg vom turbinenseitigen Ende bis zum turbinenabgewandten Ende führt. Bevorzugt ist der Generator in der Gondel angeordnet. Der Strömungsweg wird somit durch das Innere des Rotorblatts und durch das Innere der Gondel gebildet. Auf diese Weise müssen keine weiteren Maßnahmen getroffen werden, um den Luftstrom zu führen.

Erfindungsgemäß wird die auf Angabe eines Verfahrens gerichtete Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zum Betrieb einer Windkraftanlage, mit einem Generator und mit einer Turbine mit mindestens einem Rotorblatt, wobei durch Abwärme des Generators ein Luftstrom erwärmt wird, welcher durch das Innere des Rotorblatts und über eine Mündung an der Oberfläche des Rotorblatts in die Umgebung geleitet wird.

Die Vorteile eines solchen Verfahrens ergeben sich entsprechend den obigen Ausführungen zu den Vorteilen einer Windkraftanlage.

Bevorzugt wird der Luftstrom über mindestens zwei Drittel, insbesondere drei Viertel der Länge des Rotorblatts geleitet. Weiter bevorzugt wird die Abwärme des Generators auf ein fluides Wärmetransportmittel und von diesem anschließend auf den Luftstrom übertragen.

Die Erfindung wird in einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematisch und perspektivisch dargestellte Windkraftanlage,

Fig. 2 einen Längsschnitt durch eine Windkraftanlage in schematischer Darstellung,

Fig. 3 eine perspektivische Darstellung des Aufbaus eines Rotorblatts, und

Fig. 4 einen Querschnitt durch ein Rotorblatt.

Gleiche Bezugszeichen haben in den verschiedenen Figuren die gleiche Bedeutung.

In Fig. 1 ist schematisch in perspektivischer Darstellung eine Windkraftanlage 1 gezeigt. Auf einem Turm 31 ist eine Gondel 20 angeordnet. In der Gondel 20 ist ein Generator 2 angeordnet. An der Gondel 20 ist eine Turbine 3 angeordnet. Die Turbine 3 weist eine Nabe 14 auf. An der Nabe 14 sind drei zueinander jeweils um 120° beabstandete Rotorblätter 4 angeordnet. Jedes Rotorblatt 4 weist eine Oberfläche 6 auf und erstreckt sich von der Nabe 14 zu einem der Nabe abgewandten Ende 4A entlang einer Achse 15. Die Turbine 3 ist in einem Drehsinn 33 um eine Turbinenachse 3A drehbar. Entsprechend diesem Drehsinn 33 weist jedes Rotorblatt 4 eine Anströmkante 11 und eine Abströmkante 12 auf. In der Nähe der Abströmkante 12 ist im letzten Viertel jedes Rotorblattes 4 eine Mündung 7 vorgesehen. An dieser Mündung 7 mündet ein im Inneren des Rotorblatts 4 verlaufender Strömungsweg 5. Der Strömungsweg 5 erstreckt sich weiterhin von einem turbinenseitigen Ende 21 der Gondel 20 bis zu einem turbinenabgewandten Ende 22 der Gondel 20. Am turbinenabgewandten Ende 22 ist eine Öffnung 32 vorgesehen.

Im Betrieb der Windkraftanlage 1 dreht sich durch Wind angetrieben die Turbine 3 im Drehsinn 33. Durch die an jedem Rotorblatt entlangströmende Luftströmung wird an jeder Mündung 7 ein Unterdruck erzeugt. Durch diesen Unterdruck ergibt sich ein Druckgefälle zwischen jeder Mündung 7 und der Öffnung 32 an der Gondel 20. Dadurch wird an der Öffnung 32 Umgebungsluft angesaugt, welche über den Strömungsweg 5 durch die Gondel 20 und durch das Innere jedes Rotorblatts 4 bis zur Mündung 7 strömt. Diese Luftströmung 8 umströmt auch den in der Gondel 20 angeordneten Generator 2. Dabei kühlt der Luftstrom 8 den Generator 2, indem er die vom Generator 2 erzeugte Abwärme 18 aufnimmt. Aufgrund einer hohen Staudruckdifferenz zwischen den Mündungen 7 und der Öffnung 32 ist ein hoher Volumenstrom für den Luftstrom 8 erzeugbar. Damit ergibt sich eine besonders hohe Kühlleistung für den Generator 2.

Gleichzeitig mit der effizienten Kühlung des Generators 2 werden die Rotorblätter 4 durch den Luftstrom 8 erwärmt, wobei der Luftstrom 8 seinerseits durch Abwärme 18 des Generators erwärmt wird. Diese Abwärme 18 wird vom Luftstrom 8 auf jedes Rotorblatt 4 übertragen. Damit wird eine konstruktiv sehr einfache Möglichkeit bereitgestellt, die Rotorblätter 4 zu heizen und damit weitgehend eisfrei zu halten.

In Fig. 2 ist ein Längsschnitt durch eine Windkraftanlage 1 gezeigt, die im wesentlichen der Windkraftanlage 1 aus Fig. 1 entspricht. Allerdings ist für den Generator 2 eine indirekte Kühlung vorgesehen. Diese geschieht dadurch, daß der Generator 2 die Abwärme 18 an ein Kühlmittel 23 eines Wärmetauschers 19 abgibt. Der Luftstrom 8 durchströmt den Wärmetauscher 19 und nimmt dabei die vom Generator 2 abgegebene Abwärme 18 auf. Diese indirekte Kühlung ermöglicht es insbesondere, den Generator von einem direkten Einfluß durch den Luftstrom 8 getrennt zu halten. Dies verrin-

gert eine mögliche Korrosion von Generatorteilen.

Fig. 3 zeigt perspektivisch den Aufbau eines Rotorblattes 4. Das Rotorblatt 4 erstreckt sich von einer Nabe 14 entlang einer Achse 15. Es weist eine Länge L auf. Entlang der Achse 15 sind parallel zueinander Profilelemente 30 angeordnet. Die Profilelemente 30 bestimmen die Blattgeometrie des Rotorblattes 4. Das Rotorblatt 4 ist im wesentlichen hohl ausgebildet. Es weist eine Anströmkante 11 und eine Abströmkante 12 auf. Im letzten Viertel  $4/4$  L des Rotorblatts 4 ist in der Nähe der Abströmkante 12 eine Mündung 7 vorgesehen. An dieser Mündung 7 mündet der Strömungsweg 5. Wie zu den Fig. 1 und 2 erläutert, wird ein Luftstrom 8 vom Generator 2 erwärmt und durch das Innere des Rotorblattes 4 entlang des Strömungswegs 5 zur Mündung 7 geführt. Dort tritt der Luftstrom 8 in die Umgebung aus.

Fig. 4 zeigt einen Querschnitt durch ein Rotorblatt 4. Bei Rotation einer Turbine 3, der das Rotorblatt 4 zugeordnet ist, umströmt eine Luftströmung 35 das Rotorblatt 4. Entlang der Oberfläche 6 des Rotorblattes 4 ergeben sich an unterschiedlichen Positionen unterschiedliche Drücke 10a, 10b, 10c und 10d. Die Mündung 7 des Strömungswegs 5 liegt nun bei einem niedrigen Druck 10c, in der Nähe der Abströmkante 12. Damit wird ein besonders großes Druckgefälle zwischen der Mündung 7 und der Öffnung 32 (siehe Fig. 1) erreicht. Dies hat wiederum einen hohen Volumenstrom des Luftstroms 8 und damit eine hohe Kühlleistung zur Folge.

#### Patentansprüche

1. Windkraftanlage (1), mit einem Generator (2) und mit einer Turbine (3), die mindestens ein Rotorblatt (4) aufweist, wobei ein teilweise im Inneren des Rotorblattes (4) verlaufender Strömungsweg (5) an der Oberfläche (6) des Rotorblattes (4) an einer Mündung (7) mündet und wobei durch den Generator (2) Wärme (18) auf einen in dem Strömungsweg (5) erzeugbaren Luftstrom (8) übertragbar ist.
2. Windkraftanlage (1) nach Anspruch 1, bei der um das Rotorblatt (4) eine Strömung (9) erzeugbar ist, die ortsabhängig unterschiedliche Drücke (10) aufweist, wobei die Mündung (7) in einem Bereich niedrigen Druckes (10) liegt.
3. Windkraftanlage (1) nach Anspruch 1 oder 2, bei der das Rotorblatt (4) eine Anströmkante (11) und eine Abströmkante (12) aufweist, wobei die Mündung (7) an oder in der Nähe der Abströmkante (12) liegt.
4. Windkraftanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Rotorblatt (4) an einer Nabe (14) angeordnet ist und sich von der Nabe (14) entlang einer Achse (15) erstreckt, wobei die Mündung (7) im letzten Drittel (16), insbesondere im letzten Viertel (17), des Rotorblattes (4) liegt.
5. Windkraftanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Wärme (18) durch den Generator (2) direkt auf den Luftstrom (8) übertragbar ist.
6. Windkraftanlage (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Wärme (18) vom Generator (2) an einen Wärmetauscher (19) übertragbar ist, durch welchen Wärmetauscher (19) der Luftstrom (8) führt.
7. Windkraftanlage (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die eine Gondel (20) aufweist, an der die Turbine (3) angeordnet ist, wobei der Strömungsweg (5) zumindest durch einen Teil der Gondel (20) führt.
8. Windkraftanlage (1) nach Anspruch 7, bei der sich die Gondel (20) von einem turbinenseitigen Ende (21) bis zu einem turbinenabgewandten Ende (22) erstreckt, wobei der Strömungsweg (5) vom turbinenseitigen Ende (21) bis zum turbinenabgewandten Ende (22) führt.
9. Windkraftanlage (1) nach Anspruch 7 oder 8, bei der der Generator (2) in der Gondel (20) angeordnet ist.
10. Verfahren zum Betrieb einer Windkraftanlage (1), mit einem Generator (2) und mit einer Turbine (3) mit mindestens einem Rotorblatt (4), wobei durch Abwärme (18) des Generators (2) ein Luftstrom (8) erwärmt wird, welcher durch das Innere des Rotorblattes (4) und über eine Mündung (7) an der Oberfläche (6) des Rotorblattes (4) in die Umgebung geleitet wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Luftstrom (8) über mindestens zwei Drittel, insbesondere drei Viertel der Länge (L) des Rotorblattes (4) geleitet wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem die Abwärme (18) des Generators (2) auf ein fluides Wärmetranschmitttel (23) und von diesem anschließend auf den Luftstrom (8) übertragen wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

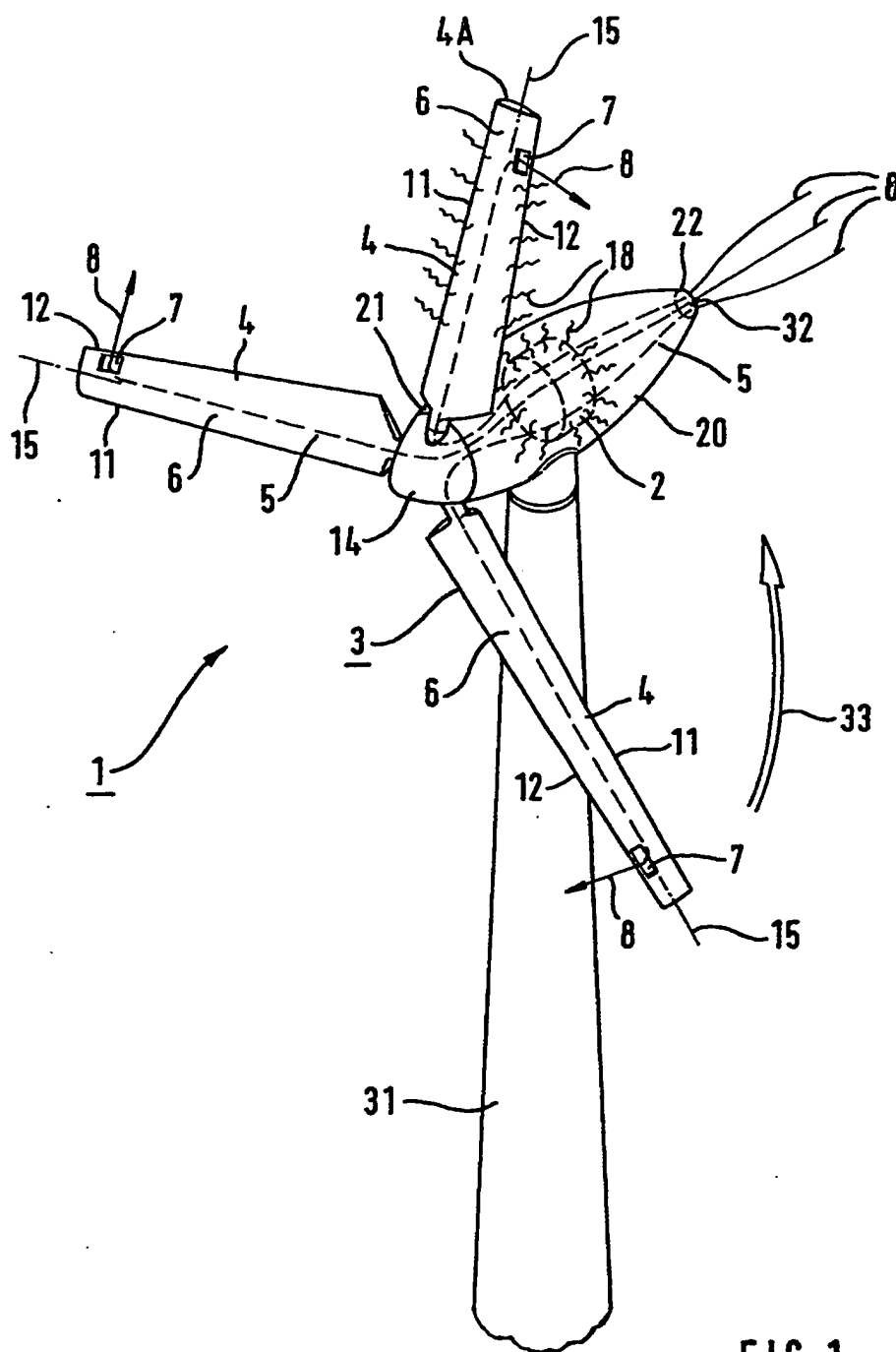


FIG 1

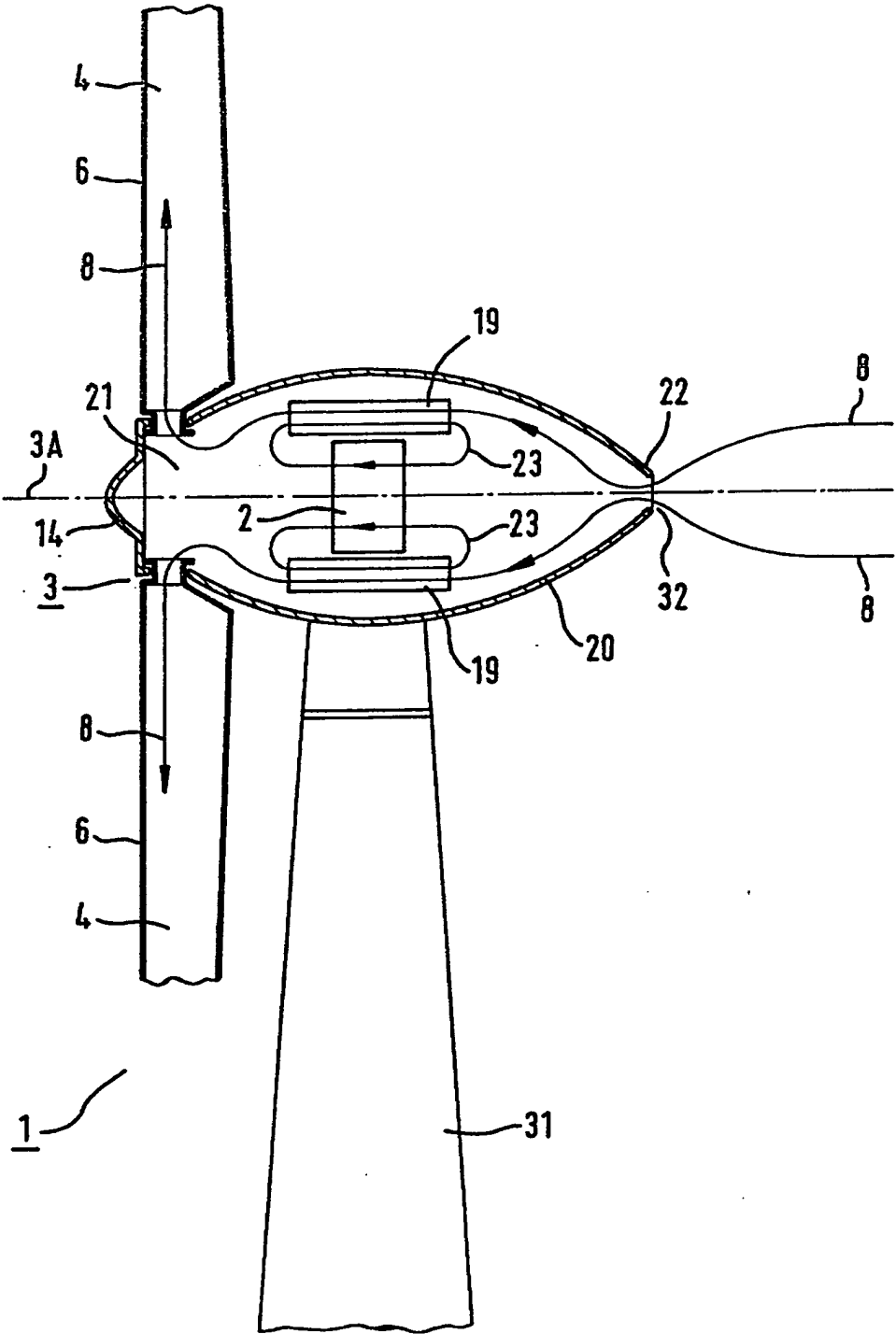


FIG 2

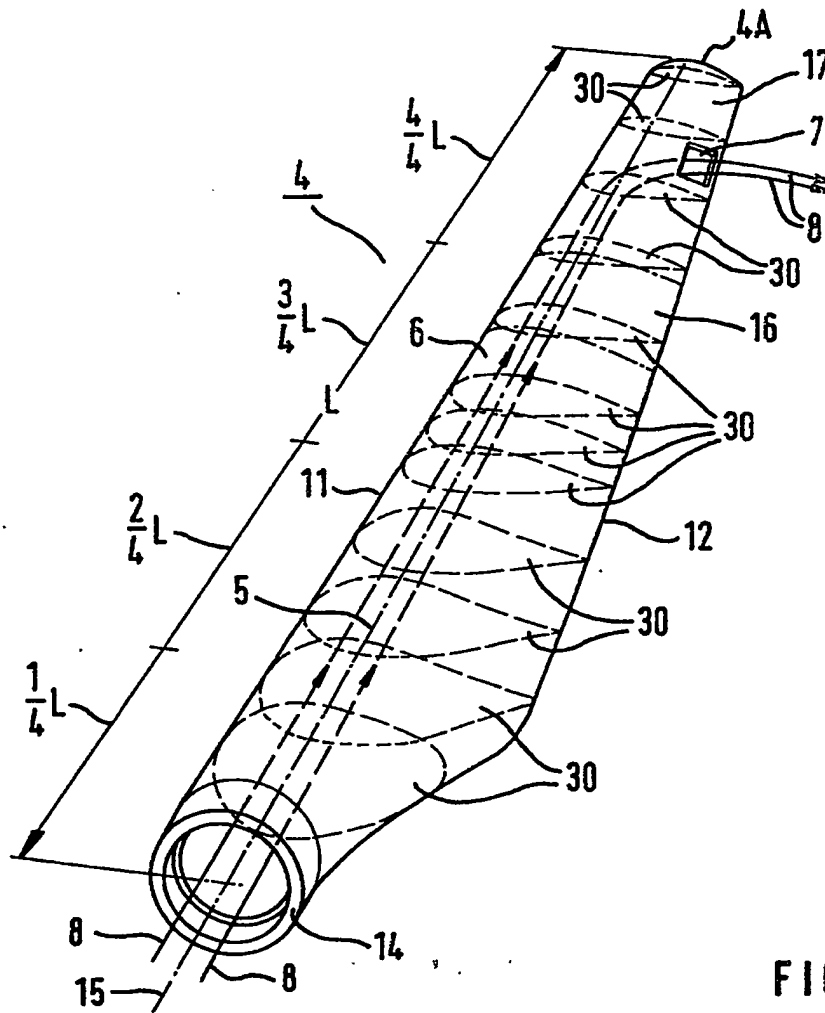


FIG 3

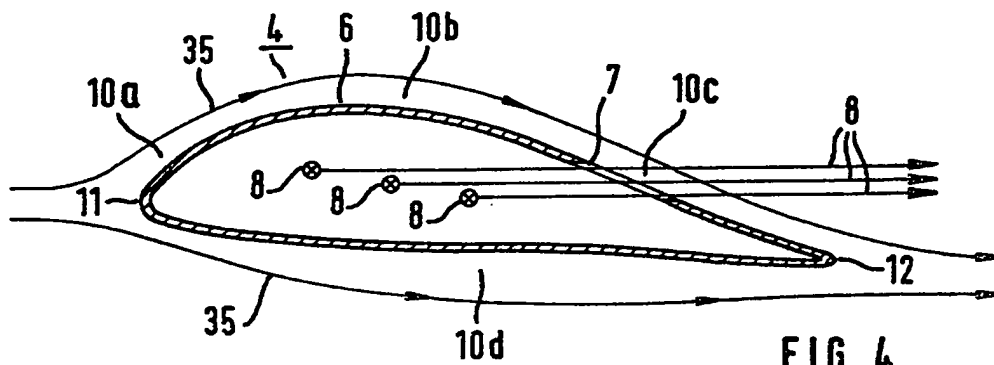


FIG 4



PUB-NO: DE019802574A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 19802574 A1

TITLE: Wind power generator plant

PUBN-DATE: March 11, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
GAWLIK, WOLFGANG DIPL ING	DE
WALLI, KLAUS DR	DE
HANZL, PETER DIPL ING	DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SIEMENS AG	DE

APPL-NO: DE19802574

APPL-DATE: January 23, 1998

PRIORITY-DATA: DE19802574A ( January 23, 1998)

INT-CL (IPC): F03D011/00

EUR-CL (EPC): F03D011/00

ABSTRACT:

A wind-power installation (1) includes a generator (2) and a turbine (3) having at least one rotor blade (4), in which a flow-path (5) extending partially in the interior of the rotor blade, flows out at the surface (6) of the rotor blade (4) at a discharge-mouth (7). Heat (18) generated by the generator (2) is transferable to an air-stream (8) in the flow-path (5). Around the rotor blade (4) a flow-stream (9) is generated and depending on its position, has different pressures (10), in which the discharge-mouth (7) lies

in a region of low-pressure (10). The rotor blade (4) has a leading edge (11) and a trailing edge (12), in which the mouth (7) is at or in the vicinity of the trailing edge (12).